

MODELO PARA SELEÇÃO DE EQUIPAMENTOS DE RETAGUARDA E ESTRATÉGIAS DE FORMAÇÃO DE PILHAS NA ARMAZENAGEM EM TERMINAIS DE CONTÊNERES

Guilherme Soares de Sá Peixoto

Libra Terminais

Rua Eduardo Magalhães s/n, Ponta da Prais, Santos, SO, Brazil , ZIP Code 11015-900

Prof. Dr. Rui Carlos Botter

Professor do Departamento de Engenharia Naval e Oceânica da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo - USP – Brasil.

E-mail: rbotter@usp.br

Resumo

O aumento da utilização do transporte marítimo e da movimentação de contêineres no mundo em consequência da globalização iniciada nos anos noventa, da facilitação de determinadas barreiras comerciais e da expansão da cadeia logística das indústrias, vêm formando um cenário de relevante aumento do tráfego de contêineres nos terminais que fazem parte das principais rotas comerciais do mundo.

Terminais de contêineres são fundamentais para a eficiência desta cadeia logística e cada vez mais necessita alcançar elevados índices de produtividade, buscando minimizar o tempo de atendimento aos navios que neles são operados; para isso, torna-se imprescindível que todo o seu sistema e recursos, do cais aos acessos terrestres, sejam adequadamente dimensionados e especificados a fim de evitar situações de gargalos e restrições operacionais que reduzam sua capacidade de movimentação.

Este trabalho aborda o problema da ocupação do pátio de forma sistêmica, identificando claramente a funcionalidade dos subsistemas que formam o terminal portuário e suas principais atividades operacionais, focando no que trata do planejamento da armazenagem dos contêineres. O modelo proposto fornece uma avaliação comparativa entre diferentes sistemas de movimentação e tipos de equipamentos de retaguarda, através da aplicação de índices e taxas de ocupação e comprometimento do pátio de armazenagem, para uma determinada demanda sem considerar a possibilidade de áreas para expansão, considerando também a aplicação de estratégias para formação das pilhas que permitem reduzir a ocupação do pátio.

Abstract

Container terminals are fundamental for the efficiency of the logistic chain and more and more needs to attain high productivity levels, seeking to minimize the time for servicing vessels operated there; it is therefore vital that the whole system and resources, from the quay to the land access routes, are adequately dimensioned and specified so as to avoid bottleneck situations and operational restrictions that may reduce its conveyance capacity.

1. Introdução

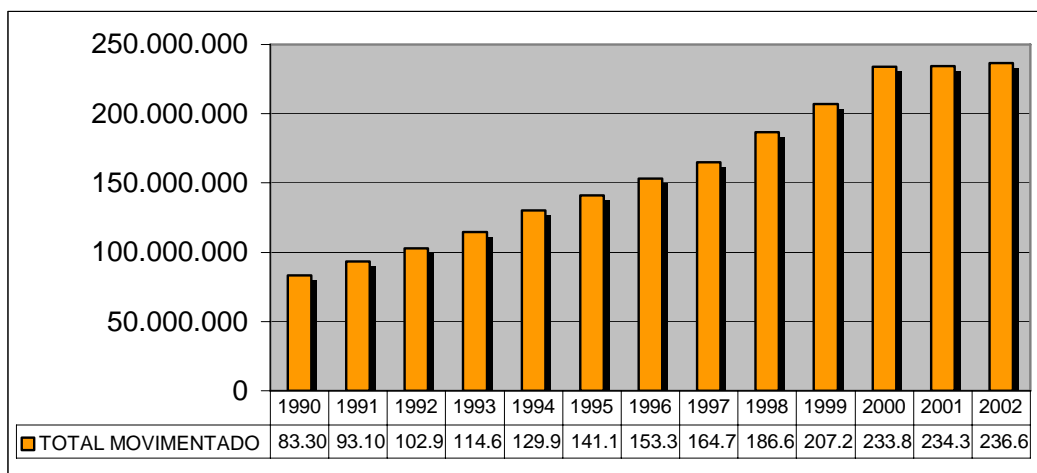
Nas últimas décadas a movimentação e o tráfego de contêineres nos terminais têm tido forte incremento. Alguns índices que revelam o crescimento desta demanda devem ser ressaltados.

- Atualmente mais de 60% de toda carga geral do mundo que é atualmente transportada através dos mares utiliza contêineres. No ano 2000 esta parcela correspondia a 54%, em 1995 eram 48% e em 1990 cerca de 37%;
- Entre países industrializados essa parcela chega à cerca de 80% de toda troca de mercadorias;
- Nos anos 90 a taxa média de crescimento mundial da movimentação de contêineres nos portos foi de 8,7%;

Estes índices estão diretamente relacionados com uma mudança verificada no comportamento das indústrias e no cenário do comércio globalizado e esta tendência pode ser confirmada ao analisarmos os seguintes fatores condicionantes da logística.

- O setor industrial cada vez confirma o modelo de especialização e verticalização das atividades produtivas, buscando em áreas distantes, as fontes de matéria prima, produtos primários e inacabados, criando um ambiente de competição mundial entre fornecedores e dependente dos sistemas de transportes;
- As indústrias estão concentrando em poucas unidades de produção, o abastecimento da demanda de diversas regiões, buscando maximizar os efeitos da economia de escala;
- A abertura dos mercados mundiais e atendimento a uma demanda globalizada aumentando o potencial produtivo e industrial.

Os fatores descritos além de aumentar o volume do comércio mundial, com relevante participação dos contêineres, faz com que seja formada uma cadeia de suprimentos cada vez mais usuária e dependente de uma logística eficaz dos sistemas de transporte, na qual, os terminais exercem papel primordial em relação ao seu desempenho e produtividade.



Fonte: Containerization international – ci online

Figura 1 – Evolução da movimentação mundial de contêineres em TEU (1990 a 2002)

Além do incremento da demanda de contêineres para os terminais, o cenário atual não estaria completo sem a identificação dos seguintes fatores relevantes e específicos do transporte marítimo:

- A organização em alianças, acordos e fusões entre os armadores e empresas de navegação visando otimizar os espaços nos navios e ganhos de escala no transporte, buscando aumentar a ocupação dos navios e, conseqüentemente, a quantidade de contêineres movimentada por viagem;
- A tendência de concentração do tráfego das grandes rotas comerciais em grandes e eficientes terminais e a distribuição regional sendo efetuado por navios e terminais de menor porte, buscando maximizar a utilização dos grandes navios, sem perder a cobertura aos mercados regionais através do transbordo dos contêineres e transporte por navios menores;
- Com direta relação aos dois itens anteriores, o aumento das dimensões e da capacidade de transporte dos navios também é fator importante deste cenário. A frota mundial de porta-contêineres vem crescendo constantemente e a participação de navios de grande capacidade tem aumentado.

Tabela 1 - Evolução da frota mundial de navios porta-contêineres (1999 a 2003)
Por capacidade de transporte (Em TEU)

FROTA MUNDIAL PORTA-CONTÊINERES	TOTAL				Abaixo de 1000 TEU				1000-1999 TEU				2000-2999 TEU			
	TEU	Diferença (%)	Navios		TEU	Diferença (%)	Navios		TEU	Diferença (%)	Navios		TEU	Diferença (%)	Navios	
1999	4.750.611		4.258		1.005.483		2.634		1.169.700		838		976.329		393	
2000	6.311.470	33%	7.037	65%	1.789.531	76%	5.001	90%	1.600.540	37%	1.162	39%	1.019.037	4%	414	5%
2001	6.881.746	9%	7.067	0%	1.762.447	-2%	4.854	-3%	1.692.906	6%	1.224	5%	1.076.686	6%	440	6%
2002	7.569.893	10%	7.135	1%	1.758.841	0%	4.748	-2%	1.750.662	3%	1.264	3%	1.163.362	8%	474	8%
2003	8.240.834	9%	7.286	2%	1.770.842	1%	4.729	0%	1.801.596	3%	1.294	2%	1.303.457	12%	527	11%
FROTA MUNDIAL PORTA-CONTÊINERES	3000-3999 TEU				4000-4999 TEU				Acima de 5000 TEU				FROTA TOTAL			
	TEU	Diferença (%)	Navios		TEU	Diferença (%)	Navios		TEU	Diferença (%)	Navios		TEU	1.999	2.001	2.003
1999	712.631		206		588.731		135		297.737		52		<2000	3.472	6.078	6.023
2000	762.085	7%	223	8%	699.275	19%	160	19%	441.002	48%	77	48%	2000-2999	393	440	527
2001	842.872	11%	247	11%	783.735	12%	178	11%	723.100	64%	124	61%	3000-3999	206	247	270
2002	919.470	9%	268	9%	786.198	0%	179	1%	1.190.360	65%	202	63%	4000-4999	135	178	221
2003	934.950	2%	270	1%	968.883	23%	221	23%	1.461.106	23%	245	21%	> 6000	52	124	245

Fonte: Containerization Internacional – CI-on line (2004)

Tabela 2 - Evolução da movimentação de contêineres nos principais portos do mundo

Porto	País	1996		1998		2000		2003	
		x1000 TEU	*	x1000 TEU	96 > 98	x1000 TEU	98 > 00	x1000 TEU	00 > 03
Hong Kong	China	13.280	*	14.582	10%	18.098	24%	20.449	13%
Singapura	Singapura	12.950	*	15.100	17%	17.090	13%	18.100	6%
Pusan	Coreia do Sul	4.684	*	5.753	23%	7.500	30%	10.407	39%
Kaohsiung	Tailândia	5.063	*	6.271	24%	7.426	18%	8.840	19%
Roterdam	Holanda	4.971	*	6.012	21%	6.275	4%	7.106	13%
Shangai	China	1.970	*	3.066	56%	5.613	83%	11.280	101%
Los Angeles	EUA	2.698	*	3.378	25%	4.879	44%	7.179	47%
Long Beach	EUA	3.067	*	4.098	34%	4.600	12%	4.658	1%
Hamburgo	Alemanha	3.054	*	3.547	16%	4.248	20%	6.138	44%
Antuérpia	Belgica	2.654	*	3.266	23%	4.082	25%	5.445	33%
Gioia Tauro	Italia	572	*	2.126	272%	2.653	25%	3.148	19%
Algeciras	Espanha	1.307	*	1.826	40%	2.009	10%	2.516	25%
Santos	Brasil	772	*	799	3%	801	0%	1.560	95%

Fonte: Shipping Statistics Yearbook (2001) e Containerization Internacional - CI - On line (2004)

Nesta introdução, tem-se a apresentação do tema proposto e a descrição do cenário atual do transporte marítimo e dos terminais de contêineres. A seção 2 traz a revisão bibliográfica do tema proposto. A seção 3 trata especificamente a caracterização e a abordagem do problema. A seção 4 apresenta a metodologia a ser utilizada e a descrição do modelo desenvolvido para a análise e seleção de equipamentos de retaguarda e estratégias de formação de pilhas na armazenagem em terminais de contêineres, são definidos os índices e parâmetros operacionais a serem utilizados e são descritas as principais estratégias de armazenagem utilizadas para cada sistema. A seção 6 descreve a aplicação do modelo para cada cenário e os resultados obtidos, que são consolidados em tabela ao final. Na seção final estão reunidas as contribuições alcançadas pelo trabalho, as conclusões obtidas da aplicação do modelo e das análises realizadas e as sugestões para os próximos passos a serem dados visando à seqüência das pesquisas relacionadas ao tema explorado.

2. Revisão Bibliográfica

Para o desenvolvimento deste trabalho, buscou-se na pesquisa bibliográfica, a reunião de publicações e trabalhos recentes que tratassem não apenas do problema de alocação de espaço e ocupação do pátio em terminais de contêineres, mas visando a abordagem do terminal de contêineres como sistema e com enfoques diferenciados, a revisão foi classificada em três partes.

2.1 Terminais de contêineres e suas atividades principais

ATKINS (1983) fornece uma visão clássica do terminal portuário de carga geral, já com tendência estabelecida a containerização, descreve detalhadamente as operações básicas de um terminal de contêineres e seus equipamentos apesar de limitado pelas restrições técnicas da época. Outra referência clássica para planejamento e operações em terminais de contêineres pode ser encontrada em DALLY et al. (1983) que apresenta um manual das práticas aplicadas ao terminal e aos principais subsistemas que com ele interagem. Em ALDERTON (1999) pode ser encontrado um registro dos princípios básicos do planejamento e gestão das operações portuárias, traz um atualizado panorama histórico evolutivo das atividades portuárias. MEERMANS e DEKKER (2001) apresentam uma revisão das atividades operacionais em um terminal de contêineres, enfatizando os recursos do campo da pesquisa operacional, aplicados a cada atividade. Em VIS e de KOSTER (2003) pode ser encontrado um apanhado dos problemas e questões operacionais mais frequentes em terminais de contêineres, traz uma classificação dos problemas de decisão de acordo com seu nível de planejamento e controle. MEERMANS (2002) apresenta em sua tese, uma síntese das mais recentes técnicas de otimização e programação matemática para os sistemas de movimentação de contêineres.

2.2 Modelos de simulação aplicados em terminais de contêineres

Em BOTTER (1984), foram desenvolvidos dois modelos computacionais para análise da capacidade de terminais portuários, sendo um baseado na teoria de filas e o outro aplicando simulação estocástica. Em TONDO (1984), pode-se encontrar um exemplo de modelagem de terminais de contêineres, programado em GPSS, que simula suas operações, visando auxiliar no dimensionamento dos recursos e na racionalização das rotinas operacionais do terminal. O modelo de simulação encontrado em

FERNANDES (2001) tem como principal objetivo analisar um sistema portuário de maneira integrada, caracterizando e modelando as principais operações de um terminal de contêineres, visando o dimensionamento adequado dos equipamentos de movimentação, de acordo com índices de utilização, servindo como suporte para a análise econômica dos custos operacionais e de investimentos.

Inúmeros trabalhos publicados no exterior tratam da simulação de operações em terminais de contêineres, entre os mais relevantes encontrados na pesquisa vale ressaltar GAMBARDELLA, RIZZOLI e ZAFFALON (1998) que utiliza a simulação para validar os modelos de otimização e métodos de solução para os problemas operacionais do terminal, dando enfoque para o caso da alocação de recursos no atendimento às operações de carga e descarga dos navios. Em BONTEMPI, GAMBARDELLA e RIZZOLI (1997), o problema da alocação de recursos nas operações de carga e descarga de navios é abordado de forma idêntica a GAMBARDELLA, RIZZOLI e ZAFFALON (1998) e o caso da armazenagem é tratado por *job-shop scheduling* comparando diferentes arranjos do pátio, buscando otimizar as operações de embarque e descarga de navios. Ainda nesta mesma linha, GAMBARDELLA, MASTROLILLI, RIZZOLI e ZAFFALON (2001) tratando os mesmos problemas de alocação de recursos e programação (*scheduling*) das operações de carga e descarga de navios, utiliza também o modelo de simulação para verificar a viabilidade das soluções otimizadas.

Em BRUZZONE, GIRIBONE e REVETRIA (1999) a simulação é apontada como ferramenta de suporte à gestão portuária, dada à complexidade e dinamismo das operações de um terminal. VEE, YE e SHAH (1999) apresentam em seu trabalho um modelo de simulação desenvolvido para aplicação no Porto de Singapura, no trabalho é adotado o modelo de programação CILK desenvolvido no MIT – *Massachusetts Institute of Technology* que tem como principal característica garantir a melhoria na performance de processamento. A ênfase do trabalho é dada para a operação de AGV – *Automated Guided Vehicles* controlados por computador. TURNER (2000) explora um modelo simplificado de simulação para avaliar as estratégias e políticas de arrendamento de terminais de contêineres sob a luz da utilização e aproveitamento otimizado de recursos do sistema. MERKURYEVA, MERKURYEV e TOLUJEV (2000) apresenta um modelo de simulação que integra os principais processos logísticos operacionais de um terminal de contêineres, tendo como objetivos a segregação do tráfego interno das rotas de transporte, a melhor utilização do pátio e a análise dos impactos de condições climáticas nas operações.

Em KIA, SHAYAN e GHOTB (2002) é apresentado um modelo de simulação para comparação entre estratégias operacionais de movimentação, visando identificar os impactos na ocupação do terminal, tanto no berço de atracação como na retaguarda. O autor utiliza o programa Taylor II, simulador estocástico que tem como característica a capacidade de investigar sistemas operacionais complexos enfatizando a abordagem de gargalos em capacidade e ocupação. Em MEERSMANS (2002) pode ser encontrado um modelo de simulação para aplicação em terminais de contêineres automatizados. O autor sugere a utilização de modelos de simulação para a análise de performance dos algoritmos de programação dos equipamentos de movimentação em todas as operações de um terminal de contêineres, do costado à retaguarda e recomenda também a

aplicação em conjunto com algoritmos e modelos matemáticos no dimensionamento da frota de equipamentos de movimentação.

2.3. Estratégias de armazenagem e formação de pilhas

DALLY et al (1983) explora o caráter sistêmico das operações de um terminal de contêineres, em relação à utilização do espaço e comparando a performance dos diferentes sistemas de movimentação de acordo com o resultado do índice de ocupação de espaço. Apesar de ser limitado à tecnologia existente na época, o trabalho oferece uma satisfatória referência para o tema. Em ALDERTON (1999) é encontrado um método matemático para dimensionamento do pátio de armazenagem de contêineres. Ainda neste trabalho é mostrada uma forma geral de estratégia para armazenagem que considera parâmetros de para segregação em função das necessidades do navio.

TALEB-IBRAHIMI, De CASTILHO e DAGANZO (1993) discute a relação entre a ocupação do espaço de armazenagem e a quantidade de movimentos realizados para a retirada de um determinado contêiner da pilha para contêineres de exportação no momento de carregamento para o embarque, apresentando duas estratégias distintas. De CASTILHO e DAGANZO (1993) exploram basicamente o mesmo conceito encontrado na referência anterior; porém direcionado para a importação, avaliando e comparando duas estratégias. Em BONTEMPI, GAMBARDELLA e RIZZOLI (1997) a questão da armazenagem de contêineres é tratada sob uma abordagem de planejamento para longo prazo, com o objetivo de otimizar a ocupação do pátio através de políticas e estratégias eficientes de armazenagem. KIM (1997) apresenta uma forma de avaliar a quantidade de remoções em quadra para terminais de contêineres em função da configuração do pátio de armazenagem e de suas pilhas. CHEN (1998) aborda o problema de ocupação de espaço em terminais de contêineres e estratégias de armazenagens visando o aumento da “produtividade da área”, assim definido pelo autor como o índice referente à medição da ocupação do espaço.

Pode ser encontrada em KIM e BAE (1998), a exploração do problema de armazenagem através da prática de arrumação dos contêineres de exportação em quadra (remoções) com o propósito de melhorar o resultado nas operações de embarque. KIM e KIM (1998) discute a questão da armazenagem em pátios destinados a contêineres de importação, relacionando o dimensionamento do espaço e a quantidade de equipamentos de retaguarda. KIM e KIM (1999) apresenta estratégias para armazenar contêineres de importação cuja principal preocupação é minimizar as remoções geradas para a retirada de uma determinada unidade do pátio destinada a entrega para caminhões externos. HOLGUIN-VERAS e JARA-DÍAZ (1999) aborda o problema de alocação de espaço sob um enfoque de otimização e priorização dos “custos” e valores logísticos agregados de cada contêiner e do que ele transporta em seu interior. CHEN (1999) traz um estudo que explora as estratégias de armazenagem em terminais de contêineres e ressalta a interação e dependência e posiciona o problema da armazenagem como um sub-sistema central do terminal. CHEN (2000) dá continuidade ao estudo anterior e oferece uma quantificação empírica, em forma de dados e gráficos, dos movimentos improdutivos verificados em um caso prático.

KIM, PARK e RYU (2000) trata do problema da armazenagem de contêineres de exportação, enfocando a determinação da posição ideal de cada contêiner que chega

ao terminal, de modo a minimizar remoções durante as operações de embarque, utilizando técnicas de programação dinâmica e método de busca *Branch & Bound* para agilizar a solução da posição ótima, criando uma árvore de decisão para cada classe de peso. STEENKEN, WINTER e ZIMMERMANN (2000) enfoca o planejamento de armazenagem em função do planejamento de embarque do navio, considerando a segregação dos contêineres nas quadras, visando à minimização dos tempos de espera dos guindastes no costado ou dos atrasos na chegada dos contêineres na posição de embarque.

KIM e KIM (2002) traz uma abordagem semelhante a KIM e KIM (1998) de otimização de espaço e equipamentos para pátios de importação através da minimização dos custos associados, considerando o tempo de atendimento dos caminhões externos, traduzido em nível de serviço pré-definido. MEERSMANS (2002) trata a questão do armazenamento dos contêineres enfatizando o problema da programação integrada dos equipamentos de movimentação, objetivando a otimização dos resultados através de métodos de solução, heurísticas e algoritmos. Em KIM e PARK (2002) são aplicadas técnicas de programação linear em conjunto com heurísticas para tratar do problema da armazenagem de contêineres e ocupação do espaço no pátio associado à eficiência no carregamento para as operações de embarque em navios. O modelo proposto sugere a minimização das distâncias de translação entre a origem/destino e o pátio principal.

2.5. Comentários e conclusões sobre a revisão bibliográfica

A revisão bibliográfica permitiu reunir elementos para uma ampla conceituação e definição das atividades encontradas em um terminal de contêineres, buscando complementar o conhecimento prático e teórico, já explorado em experiências anteriores, com visões e enfoques diferenciados encontrados em variados autores; permitiu também identificar que os modelos de simulação vêm sendo cada vez mais utilizados no planejamento portuário, tanto para a modelagem estocástica, como para a complementação à pesquisa operacional, ilustrando uma solução gerada por um modelo de otimização, uma heurística ou um método de solução. E finalmente buscou-se encontrar o que havia sido escrito em publicações relevantes sobre as estratégias de armazenagem, as formas de ocupação de espaço e suas medidas e índices de avaliação.

Percebe-se claramente que a quantidade de trabalhos que citam a necessidade de racionalização das pilhas para uma melhor ocupação de espaço começa a aumentar a partir de 1998, ainda assim grande parcela ainda é destinada apenas ao planejamento do armazenamento com o propósito de otimizar a retirada do contêiner da pilha, evitando remoções desnecessárias; porém, pouco foi encontrado que considerasse a avaliação de diferentes sistemas de movimentação, associado as estratégias de armazenagem e o comportamento de cada tipo de equipamento na formação da pilha e retirada do contêiner, normalmente os trabalhos desenvolvidos buscam otimizar a utilização do sistema após sua escolha, e é no preenchimento desta lacuna que a metodologia proposta neste trabalho tem sua principal motivação. Busca reunir os elementos e características básicas dos tipos de equipamentos e sistemas de movimentação, associando-os às estratégias e políticas de formação das pilhas e ocupação do espaço no pátio.

3. Abordagem e delimitação do problema

O terminal de contêineres pode ser considerado o ponto de transbordo e transferência entre modais de transportes das cargas, que são recebidas e ficam armazenadas até o momento do carregamento no veículo transportador designado. O terminal moderno tem suas atividades direcionadas exclusivamente à movimentação eficiente dos contêineres, buscando atender à sua demanda, mantendo um nível de serviço adequado aos clientes e usuários do terminal. Os clientes principais do terminal de contêineres são os armadores, empresas de navegação que escolhem os terminais que irão escalar seus navios, normalmente regulares, de acordo com a rota ou serviço estabelecido; porém, cada vez mais é aumentada a importância dos transportadores terrestres, usuários do terminal, que precisam dar continuidade à cadeia logística e cumprir seus prazos, metas e objetivos.

O nível de serviço a ser atingido pelos terminais pode ser medido através do tempo de atendimento aos veículos transportadores, normalmente decorrente da taxa de produção dos guindastes e equipamentos que fazem as movimentações durante as operações, usualmente expressa em movimentos ou contêineres por unidade de tempo. Esta produção não depende apenas da capacidade e do dimensionamento dos equipamentos de movimentação, mas também de diversos fatores e condicionantes operacionais decisivos para o desempenho das operações, valendo ressaltar: (i) a distribuição dos contêineres ao longo do navio, definindo a carga de trabalho dos equipamentos de cais; (ii) a preparação e segregação dos contêineres no pátio de armazenagem, permitindo atender às necessidades de carregamento sem remoções e movimentos improdutivos; (iii) a distribuição da carga no pátio visando evitar o deslocamento excessivo dos equipamentos de retaguarda ou permitindo a divisão da carga de trabalho, maximizando o carregamento e retirada dos contêineres das pilhas, entre outros.

Uma característica importante de ser ressaltada quando analisado o planejamento de terminais portuários é o elevado grau de interação e dependência entre os diferentes processos operacionais existentes, formando claramente um sistema que pode ser dividido em sub-sistemas principais, conforme demonstrado na figura a seguir. Esta abordagem facilita identificação das relações dos processos internos e as influências e restrições do ambiente externo.

Este artigo tem sua concentração no planejamento da armazenagem de contêineres e ocupação de espaço no pátio de armazenagem, buscando definir um método de avaliação comparativa entre diferentes tipos de equipamentos e sistemas de movimentação de retaguarda, considerando também a aplicação de estratégias de armazenagem e formação de pilhas, visando melhorar a ocupação de espaço no pátio de armazenagem, sem prejudicar o desempenho das operações de embarque do navio.

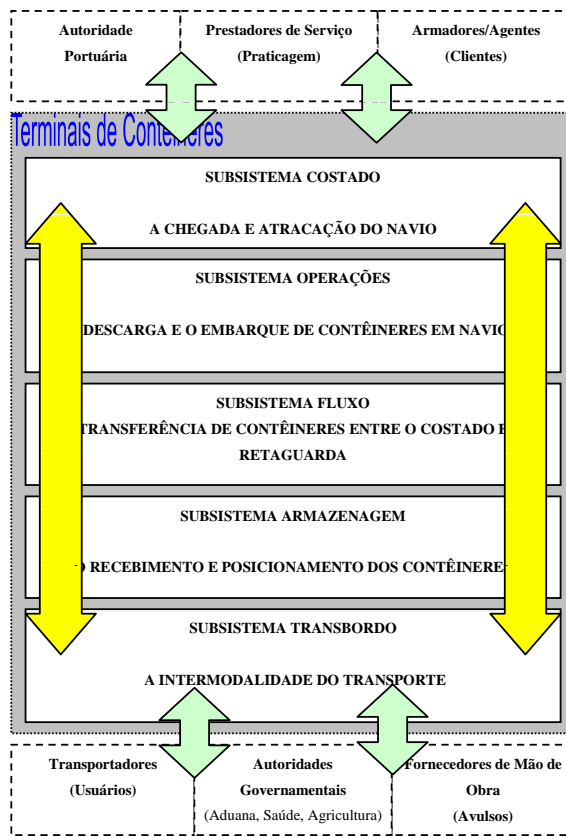


Figura 2 – Caracterização sistêmica de um terminal de contêineres

Os fatores condicionantes e as limitações do problema abordado neste artigo estão diretamente relacionados com o crescimento da demanda para os terminais, decorrente de um maior tráfego de contêineres no comércio mundial; com a escassez de áreas para expansão observada na maioria dos portos e com a necessidade constante de melhoria contínua dos índices de produtividade oferecidos pelos terminais aos seus clientes, os armadores, conforme ilustra a figura a seguir.

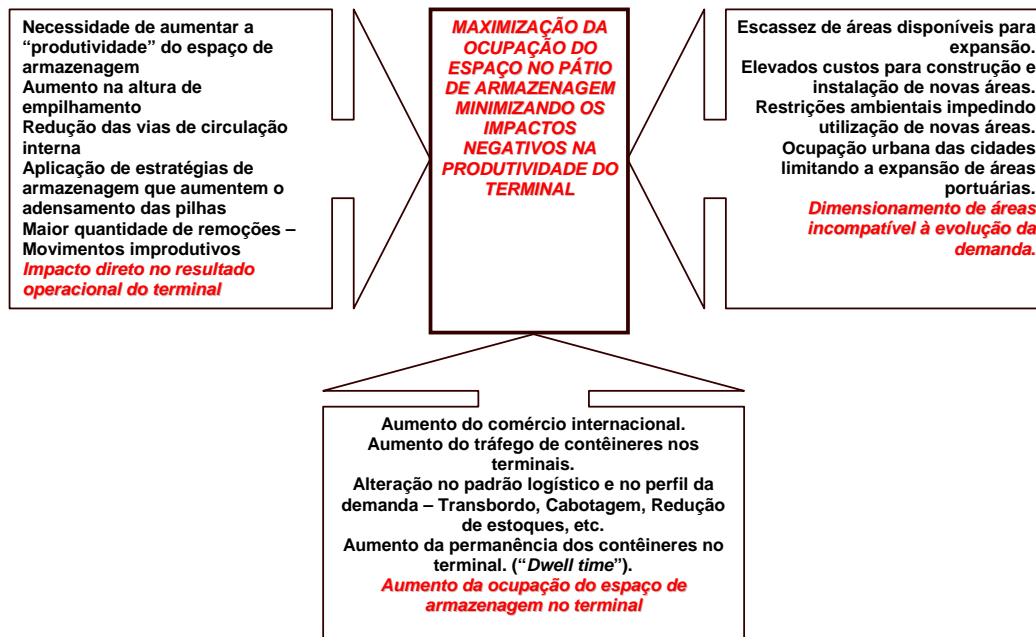


Figura 3 – Objetivos e delimitação do problema

4. Descrição do modelo e das estratégias de armazenagem

O modelo desenvolvido, em linhas gerais, avalia o comportamento de diferentes tipos de equipamentos de movimentação de retaguarda, no tocante a armazenagem e ocupação do espaço no pátio em um terminal de contêineres dada uma demanda representativa de contêineres a serem armazenados em um pátio formado por quadras definidas de acordo com as especificações técnicas e características físicas de cada equipamento.

A primeira etapa consiste em estabelecer a demanda de contêineres a ser armazenada identificando as características principais de cada contêiner, definidas em de acordo com os parâmetros de segregação de armazenagem, adotados em função das condições de estivagem estabelecidas pelo planejador do navio; as segunda e terceira etapas determinam o tipo de equipamento e sistema de movimentação a ser analisado pelo modelo e a respectiva configuração do pátio de armazenagem, mais especificamente o tamanho das quadras, a altura das pilhas, a forma de acesso aos contêineres, vias de circulação e tráfego operacional; em seguida o modelo procura simular o planejamento inicial para a armazenagem dos contêineres através da aplicação dos parâmetros de segregação básicos previamente definidos; na quinta etapa o modelo define as posições dos contêineres e a ocupação do pátio de armazenagem; o sexto passo do modelo consiste em calcular os índices e taxas de ocupação do espaço e da área utilizada e avaliação do desempenho de cada tipo de equipamento, no tocante à ocupação das pilhas e ao aproveitamento do pátio de armazenagem, concluindo o primeiro cenário. Para as simulações do segundo cenário, o modelo prevê a aplicação de estratégias de armazenagem e formação de pilhas estabelecendo alternativas para cada tipo de equipamento avaliado, alterando as posições planejadas, em função da estratégia aplicada, visando reduzir os índices de ocupação de pátio; finalmente o modelo reavalia os índices e taxas de ocupação, visando à validação da estratégia de armazenagem adotada, associada ao tipo de equipamento, demonstrando os resultados obtidos, de maneira a permitir uma análise comparativa entre as opções.

A estratégia inicial definida para o planejamento do recebimento e armazenagem dos contêineres, consiste na segregação dos grupos formados pela aplicação dos parâmetros básicos de segregação, notadamente, navio e viagem, porto de estivagem, classe de peso e comprimento. De acordo com os parâmetros acima descritos são formados os grupos de contêineres que poderão ser empilhados em uma mesma quadra, de acordo com a estratégia de armazenagem adotada. Apenas no intuito de simplificar a modelagem, não foram consideradas, como parâmetros de segregação, algumas características específicas de determinados contêineres, (i.e.: instruções especiais de estivagem, carga perigosa ou refrigerada, etc) apesar destes parâmetros serem fundamentais para as operações do terminal de contêineres, esta simplificação de forma alguma invalida a metodologia apresentada, visto que a proposta é avaliar o comportamento dos equipamentos de retaguarda quanto à ocupação do espaço no pátio de armazenagem.

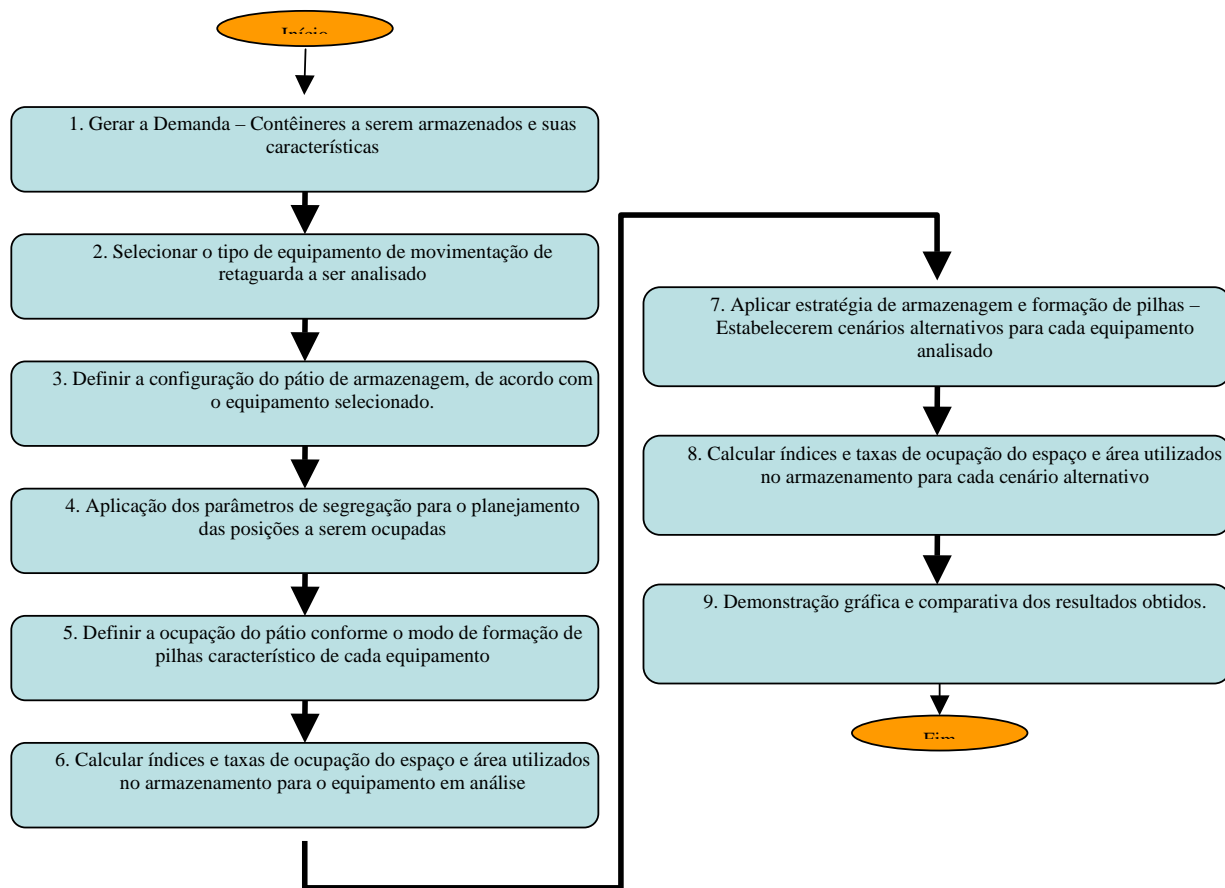


Figura 4 - Fluxograma representativo das etapas e processos do modelo

A essência de um planejamento básico de segregação consiste em oferecer alternativas ao planejador do navio para que se tenham contêineres de características semelhantes, agrupados em um número de pilhas, que permita o planejamento da seqüência de retirada em função das restrições impostas pelo plano de embarque do navio, sem que haja a necessidade de remover contêineres com características distintas e que estejam misturados nesta mesma pilha.

As estratégias de armazenagem consistem em combinações ou misturas em uma mesma quadra dos contêineres destinados a navios com data de operação mais distante, chamados de navios futuros. A principal questão deste tipo de estratégia de armazenagem consiste na definição de quais grupos de contêineres serão misturados no recebimento e em que momento estes contêineres serão removidos para outras pilhas, sendo segregados para o embarque no respectivo navio. O aspecto positivo da utilização deste tipo de estratégia está no melhor adensamento das pilhas e conseqüente aumento do espaço disponível no pátio; porém, junto com esta vantagem vem à necessidade de futuramente remover os contêineres, aumentando a quantidade de movimentos improdutivos no pátio ou, o que seria ainda pior, o atraso do carregamento durante as operações do navio, devido às remoções para seleção de determinados contêineres, decorrente de pilhas não adequadamente preparadas para o embarque.

5. Aplicação do modelo e resultados obtidos

A aplicação do modelo para seleção de equipamentos de retaguarda e avaliação de estratégias de armazenagem foi feita através de análise de cenários, sendo estabelecido um cenário para cada equipamento de retaguarda analisado, dividido em dois grupos distintos, o primeiro seguindo apenas os parâmetros de segregação básicos e o segundo grupo considerando a aplicação de estratégias de armazenagem, conforme ilustrado nas figuras a seguir.

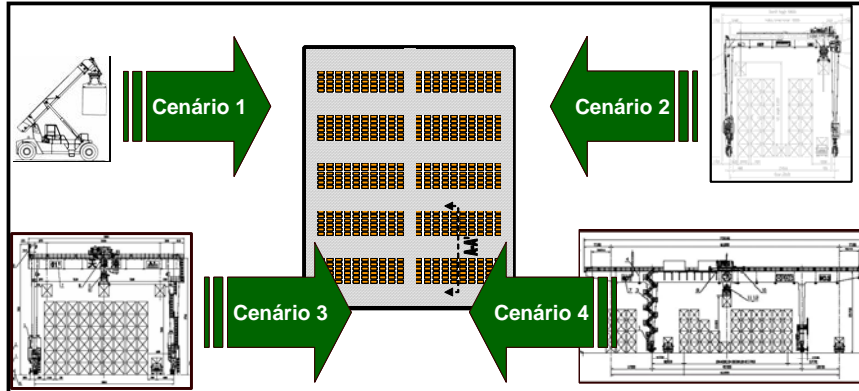


Figura 5 – Formação dos cenários para análise do modelo de seleção



Figura 6 – Formação dos cenários 1.n



Figura 7 – Formação dos cenários 2.n

Foi simulado em planilha um modelo reduzido de um pátio de contêineres, com dimensões de cinquenta mil metros quadrados, a ser ocupado individualmente por cada equipamento a ser analisado, a capacidade estática e a configuração do pátio foram obtidas em função das especificações técnicas e físicas de cada equipamento; foi gerada uma demanda tipo, proporcionalmente reduzida e representativa da movimentação encontrada no Porto brasileiro de Santos, distribuída em função do padrão de recebimento observado.

Tabela 3 – Características da demanda adotada

NAVIOS	3	(NAV1 - ETA 2 dias / NAV2 - ETA 7 dias / NAV3 - ETA 15 dias)
SPOD	4	Portos de estivagem para cada navio
PESO	3	classe de peso - L p < 12 t / M 12 t < p < 18 t / P p > 18 t
TOTAL (Unidades)	500	contêineres
TOTAL (TEU)	700	TEU

O modelo oferece como primeiro resultado a visualização do pátio ocupado, de acordo com os parâmetros de segregação estabelecidos, mostrando cada grupo de segregação com sua cor e padrão específicos. Desta ocupação são calculados os índices e as taxas que irão avaliar a utilização e o comprometimento do pátio de armazenagem, e a capacidade dinâmica anual do pátio para cada solução analisada pelo modelo, formando o conjunto de resultados para o primeiro cenário. Para o segundo cenário, para a mesma demanda, com a aplicação das estratégias de segregação, armazenando em pilhas comuns contêineres destinados aos navios com data de chegada mais distante, permitindo melhor adensamento das pilhas e economia na ocupação dos espaços; novo conjunto de resultados é calculado estabelecendo a comparação para o uso de estratégias de armazenagem, avaliando a ocupação e capacidade do pátio de armazenagem para cada equipamento de retaguarda analisado pelo modelo.

A formulação matemática utilizada para a obtenção dos resultados e cálculos dos índices e taxas pode ser dividida em três etapas, sendo elas:

- **Cálculos de capacidade e ocupação** - Nesta etapa o modelo busca determinar a capacidade do pátio de armazenagem para a referida configuração de pátio e a quantidade de espaços ocupados, comprometidos e livres existentes no pátio de armazenagem. Um importante índice encontrado nesta etapa é a capacidade anual de armazenagem do pátio, muito utilizado para dimensionamento de recursos e área.
- **Cálculos de taxas e ocupação e fator de comprometimento** - São relacionados os percentuais de ocupação do pátio considerando tanto a ocupação física como a comprometida, também é obtido o fator de comprometimento do pátio que revela o índice de adensamento das pilhas para cada cenário.
- **Cálculos de índice de utilização da área e desempenho** – Nesta etapa a utilização da área é inserida e um importante índice é obtido, que relaciona os espaços ocupados com a área utilizada, também é encontrado o desempenho anual do pátio de armazenagem para cada sistema de movimentação.

Os resultados obtidos da aplicação do modelo reduzido podem ser visualizados nas tabelas a seguir.

TABELA 4 – RESULTADOS OBTIDOS DO MODELO – COMPARAÇÃO ENTRE TIPOS DE EQUIPAMENTOS
 CENÁRIO 1 – PARÂMETROS DE SEGREGAÇÃO BÁSICOS (SEM ESTRATÉGIAS DE ARMAZENAGEM)

	RS	RTG	RMG versão A	RMG versão B
ALTURA DE EMPILHAMENTO	5	6	6	6
LASTROS POR QUADRA	7	6	9	13
BAIAS POR QUADRA	10	10	10	10
QUANTIDADE DE QUADRAS	10	12	8	6
CAPACIDADE ANUAL DO PÁTIO DE ARMAZENAGEM (TEU/ano)	229.950	283.824	283.824	299.592
CAPACIDADE NOMINAL DO PÁTIO DE ARMAZENAGEM (TEU)	3.500	4.320	4.320	4.560
CAPACIDADE OPERACIONAL DO PÁTIO DE ARMAZENAGEM (TEU)	3.150	3.888	3.888	4.104
OCUPAÇÃO FÍSICA DO PÁTIO DE ARMAZENAGEM (TEU)	698	698	698	698
DISPONIBILIDADE OPERACIONAL DO PÁTIO DE ARMAZENAGEM (TEU)	-	2.892	2.892	3.108
OCUPAÇÃO COMPROMETIDA DO PÁTIO DE ARMAZENAGEM (TEU)	2.452	298	298	298
TAXA DE OCUPAÇÃO NOMINAL DO PÁTIO DE ARMAZENAGEM (%)	20	16	16	15
TAXA DE OCUPAÇÃO OPERACIONAL DO PÁTIO DE ARMAZENAGEM (%)	22	18	18	17
TAXA DE OCUPAÇÃO TOTAL DO PÁTIO DE ARMAZENAGEM (%)	100	26	26	24
FATOR DE COMPROMETIMENTO DO PÁTIO DE ARMAZENAGEM	4,51	1,43	1,43	1,43
ÁREA UTILIZADA POR POSIÇÕES OCUPADAS E COMPROMETIDAS NO PÁTIO (m ²)	12.524	2.970	2.970	2.970
ÍNDICE DE UTILIZAÇÃO DA ÁREA DE ARMAZENAGEM – PELA CAPACIDADE (TEU/m ²)	0,070	0,086	0,086	0,091
(TEU/ha.)	700	864	864	912
ÍNDICE DE UTILIZAÇÃO DA ÁREA DE ARMAZENAGEM – PELA DEMANDA (TEU/m ²)	0,014	0,054	0,054	0,058
(TEU/ha.)	140	545	545	575
DESEMPENHO ANUAL DO PÁTIO DE ARMAZENAGEM (TEU/ha/ano)	11.323	44.201	44.201	46.657

TABELA 5 – RESULTADOS OBTIDOS DO MODELO – COMPARAÇÃO ENTRE TIPOS DE EQUIPAMENTOS
 CENÁRIO 2 – APLICANDO ESTRATÉGIAS DE ARMAZENAGEM E FORMAÇÃO DE PILHAS

	RS	RTG	RMG versão A	RMG versão B
ALTURA DE EMPILHAMENTO	5	6	6	6
LASTROS POR QUADRA	7	6	9	13
BAIAS POR QUADRA	10	10	10	10
QUANTIDADE DE QUADRAS	10	12	8	6
CAPACIDADE ANUAL DO PÁTIO DE ARMAZENAGEM (TEU/ano)	229.950	283.824	283.824	299.592
CAPACIDADE NOMINAL DO PÁTIO DE ARMAZENAGEM (TEU)	3.500	4.320	4.320	4.560
CAPACIDADE OPERACIONAL DO PÁTIO DE ARMAZENAGEM (TEU)	3.150	3.888	3.888	4.104
OCUPAÇÃO FÍSICA DO PÁTIO DE ARMAZENAGEM (TEU)	698	698	698	698
DISPONIBILIDADE OPERACIONAL DO PÁTIO DE ARMAZENAGEM (TEU)	1.365	3.072	3.072	3.288
OCUPAÇÃO COMPROMETIDA DO PÁTIO DE ARMAZENAGEM (TEU)	1.087	118	118	118
TAXA DE OCUPAÇÃO NOMINAL DO PÁTIO DE ARMAZENAGEM (%)	20	16	16	15
TAXA DE OCUPAÇÃO OPERACIONAL DO PÁTIO DE ARMAZENAGEM (%)	22	18	18	17
TAXA DE OCUPAÇÃO TOTAL DO PÁTIO DE ARMAZENAGEM (%)	57	21	21	20
FATOR DE COMPROMETIMENTO DO PÁTIO DE ARMAZENAGEM	2,56	1,17	1,17	1,17
ÁREA UTILIZADA POR POSIÇÕES OCUPADAS E COMPROMETIDAS NO PÁTIO (m ²)	6.387	2.433	2.433	2.433
ÍNDICE DE UTILIZAÇÃO DA ÁREA DE ARMAZENAGEM – PELA CAPACIDADE (TEU/m ²)	0,070	0,086	0,086	0,091
(TEU/ha.)	700	864	864	912
ÍNDICE DE UTILIZAÇÃO DA ÁREA DE ARMAZENAGEM – PELA DEMANDA (TEU/m ²)	0,025	0,067	0,067	0,070
(TEU/ha.)	246	665	665	702
DESEMPENHO ANUAL DO PÁTIO DE ARMAZENAGEM (TEU/ha/ano)	19.982	53.951	53.951	56.949

6. Conclusões

A capacidade estática do pátio de armazenagem, que tem relação direta com as dimensões físicas e especificações dos equipamentos de retaguarda, pode-se notar nos resultados finais, não representam relevante variação entre os equipamentos avaliados; porém, ao analisar a ocupação dos espaços no pátio de armazenagem associando aos critérios de segregação necessários para atender ao planejamento de embarque do navio, a capacidade estática nominal e as especificações fornecidas pelo fabricante dos equipamentos passam a não representar a situação real da ocupação do pátio de armazenagem. Pode-se notar claramente que o efeito da demanda sobre a ocupação do pátio, decorrente dos grupos de segregação formados tem relevante impacto no planejamento e na definição das posições a serem ocupadas no terminal, devendo ser criteriosamente considerado no dimensionamento do pátio e na seleção do sistema de movimentação de retaguarda.

No tocante à formação das pilhas, fica nítido que a acessibilidade das empilhadeiras (“*Reach Stacker*”), somente pelas faces externas da pilha e não por sobre os lastros, associada à adoção de parâmetros de segregação, torna a ocupação total do pátio de armazenagem consideravelmente maior ao compararmos com os equipamentos de pórtico, cuja característica operacional permite a acessibilidade aos lastros internos da pilha, este fato pode ser confirmado pela análise do índice de comprometimento das pilhas, que define o adensamento atingido no pátio de armazenagem de acordo com os contêineres a serem armazenados, os parâmetros de segregação adotados e o tipo de equipamento utilizado.

Importante ressaltar que no primeiro cenário, a ocupação total do pátio de armazenagem para as empilhadeiras (ocupados + comprometidos) já atingiu a totalidade dos espaços existentes; portanto, a viabilidade da escolha do sistema de empilhadeiras está fortemente relacionada com as estratégias de armazenagem adotada no planejamento, sendo necessário reduzir o número de grupos de segregação e aumentar a mistura de contêineres de diferentes características nas pilhas, visando otimizar a ocupação do pátio. Já para os equipamentos de pórtico analisados, a aplicação de estratégias de armazenagem não representa vantagem relevante para a demanda avaliada, visto que a capacidade natural de adensamento das pilhas é consideravelmente satisfatória, formando pilhas com uma eficiente ocupação de espaço, mesmo seguindo os parâmetros básicos de segregação.

Um aspecto negativo da aplicação de estratégias de armazenagem é a quantidade de remoções geradas para posterior acerto da carga no pátio, assim que o espaço é desocupado decorrente do embarque do navio atual, devem ser programadas remoções para distribuir estes contêineres de acordo com os parâmetros de segregação desejados, esta prática certamente irá aumentar a quantidade de movimentos e a carga de trabalho dos equipamentos de retaguarda; ainda assim, a solução apresentada neste trabalho será facilmente viabilizada em situações de escassez de área disponível para expansão, atendimento à variação sazonal da demanda, reserva de espaço para atendimento à descarga de navios, entre outras razões.

Agradecimentos

Importante ressaltar a contribuição de grande valor oferecida pela Libra Terminais – T37 Santos, não apenas pelo auxílio na elaboração e confecção deste trabalho, mas principalmente pela possibilidade de conviver e trocar experiências com profissionais de elevado nível técnico tanto em seu quadro executivo quanto no operacional, especialmente aos Eng. José Eduardo Bechara e Henry James Robinson pelo conhecimento oferecido e ao companheiro Marcelo Patrício por “tocar o barco” em equipe.

Aos professores da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo Marco Brinatti e Paulino e principalmente ao meu orientador Rui Carlos Botter; cujas observações e críticas repletas de objetividade e coerência, tanto contribuíram para a conclusão deste estudo.

Finalmente, aos meus familiares e amigos, Maurício Bailly de Sá Peixoto, pai, mestre e mentor da vida, minha mãe Ivonete, que no momento mais difícil de sua vida ainda teve a capacidade de dividir atenção, dando incentivo à continuidade deste trabalho e a Thelma pelo companheirismo e compreensão, nem sempre fácil de entender, para com os momentos ausentes.

Referências

- ALDERTON, P.M. (1999) **Port Management and Operations**, Lloyd's Practical Shipping Guides - LLP Hong Kong
- ATKINS, W.H. (1983) **Modern Marine Terminal – Operations and Management**, The Maritime Division of the Port of Oakland, Oakland, California.
- BALLOU, R. H. (2001) **Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos: Planejamento, Organização e Logística Empresarial** – 4ª Edição – Bookman, 2001.
- BONTEMPI, G., GAMBARDELLA, L.M., RIZZOLI, A.E. (1997) **Simulation and Optimization for Management of Intermodal Terminals**, trabalho apresentado na ESM'97, Istambul, Junho 1-4.
- BOTTER, R.C. (1985) **Planejamento Portuário: Modelo para Análise Operacional do Sistema Porto Associado a Níveis de Serviço**, Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia Naval. EPUSP.
- BRUZZONE, A.G., GIRIBONE, P., REVETRIA, R. (1999) **Operative Requirements and Advances for the New Generation Simulators in Multimodal Container Terminals**, Proceedings of the 1999 Winter Simulation Conference.
- CHEN, T. (1998) **Land Utilization in the container terminal: a global perspective**, Maritime Policy & Management vol.25 (4), 289-303.
- CHEN, T. (1999) **Yard Operations in the container terminal – a study in the 'unproductive moves'**, Maritime Policy & Management. vol. 26 (1), 27-38.
- CHEN, T. (2000) **Empirical studies on yard operations Part 2: Quantifying unproductive moves undertaken in quay transfer operations**, Maritime Policy & Management. vol. 27 (2), 191-207.

- CHURCHMAN, C.W. (1971) **Introdução à Teoria dos Sistemas**, Editora Vozes Ltda. – Petrópolis, RJ – Brasil.
- CONTAINERIZATION INTERNATIONAL (2004) – CI online – www.ci-online.co.uk
- DALLY, H.K. et al. (1983) **Container Handling and Transport**, CS Publications Ltd, England.
- De CASTILHO, B. , DAGANZO, C.F. (1993), **Handling strategies for import containers at marine terminals**, Transportation Research B27 (2), 151-166.
- DREWRY SHIPPING CONSULTANTS Ltd. (2004) – www.drewry.co.uk
- FERNANDES, M.G. (2001) **Modelo econômico-operacional para análise e dimensionamento de terminais de contêineres e veículos**, Dissertação de mestrado. Departamento de Engenharia Naval. EPUSP.
- GAMBARDELLA, L. M., RIZZOLI, A. E., ZAFFALON, M. (1998) **Simulation and Planning of an Intermodal Container Terminal** , Special Issue SIMULATION on Harbour and Maritime Simulation.
- GUALDA, N. D. F. (1995) **Terminais de Transportes: Contribuição ao Planejamento e ao Dimensionamento Operacional** – Tese apresentada à EPUSP para concurso de livre docência junto ao Departamento de Engenharia de Transportes, São Paulo, 1995.
- HOLGUIN-VERAS, J., JARA-DIAZ, S. (1999), **Optimal pricing for priority service and space allocation in container ports**, Transportation Research B33, 81-106.
- KIA, M., SHAYAN, E., GHOTB, F. (2002) **Investigation of Port Capacity under a new Approach by Computer Simulation**, Computers & Industrial Engineering 42, 533-540.
- KIM, K.H. , KIM, H.B. (1999), **Segregating space allocation models for container inventories in port container terminals**, International Journal of Production Economics 59, 415-423.
- KIM, K.H. , BAE, J.W. (1998), **Re-marshaling export containers in port container terminals**, Computers & Industrial Engineering 35(3-4), 655-658.
- KIM, K.H. , KIM, H.B. (1998), **The optimal determination of the space requirement and the number of transfer cranes for import containers**, Computers & Industrial Engineering 35(3-4), 427-430.
- KIM, K.H. (1997), **Evaluation of the number of rehandles in containers yards**, Computers & Industrial Engineering 32(4), 701-711.
- KIM, K.H. , PARK, Y.M. , RYU, K.R. (2000) , **Deriving decision rules to locate export containers in container yards**, European Journal of Operational Research 124, 89-101.
- KIM, K.H. , KIM, H.B. (2002), **The optimal sizing of the storage space and handling facilities for import containers**, Transportation Research B36, 821-835
- KIM, K.H. , PARK, K.T. (2002) , **A note on a dynamic space-allocation method for outbound containers**, European Journal of Operational Research in press.
- MEERSMANS, P.J.M., DEKKER, R. (2001) **Operations Research supports container handling**, Econometric Institute Report EI 2001 – 22, Erasmus University Rotterdam.

- MEERSMANS, P.J.M. (2002) **Optimization of Container Handling Systems**, Dissertação de doutorado, Erasmus University – Rotterdam, Abril de 2002.
- MERKURYEVA, G. , MERKURYEV, Y. E TOLUJEV, J. (2000) **Computer Simulation and Metamodelling Of Logistics Processes At a Container Terminal**, Riga Technical University – Riga, Latvia. (http://www.ici.ro/ici/revista/sic2000_1/art06.html)
- STEENKEN, D. , WINTER, T. e ZIMMERMANN, T.U. (2000) **Stowage and Transport Optimization in Ship Planning**, www.citeseer.com
- TALEB-IBRAHIMI, M., De CASTILHO, B. , DAGANZO, C.F. (1993), **Storage space vs. handling work in container terminals**, Transportation Research B 27, 13-32.
- THOMAS, B.J. , e ROACH, K. (1988) **Operating and Maintenance features of container handling systems**, United Nations Conference on Trade and Development UNCTAD.
- TONDO, C. M. (1984) **Simulação e análise operacional do terminal de contêineres do Porto de Santos**. Dissertação apresentada à EPUSP para obtenção do título em mestre em Engenharia, São Paulo.
- TURNER, S.H. (2000) **Evaluating seaport policy alternatives: a simulation study of terminal leasing policy and system performance**, Maritime Policy & Management vol.27(3), 283-301.
- VEE, V., YE, R., SHAH, S.N. (1999) **Meeting Challenges of Container Port Operations for the Next Millennium**, CAIS-TR-99-25 Centre for Advanced Information Systems, School of Applied Science, Nanyang Technological University.
- VIS, F.A.I. , de KOSTER, R. (2003) **Transshipment of containers at a container terminal: An overview**, European Journal of Operational Research 147, 1-16
- WORLD BANK PORT REFORM TOOL KIT (2002) **The Evolution of ports in a Competitive World – Module 2**.